5Г

УДК 004.89:004.93

Л.О. Глущенко, В.Н. Пигуз
Институт проблем искусственного интеллекта МОН Украины и НАН Украины, г. Донецк
sevan@iai.dn.ua, max@iai.dn.ua

Инструментарий искусственного интеллекта для решения экологических задач
(по материалам журнала «Искусственный интеллект»)

По материалам журнала «Искусственный интеллект» за период 1996 – 2010 гг. составлен аннотированный перечень работ, посвященных решению экологических задач. Выделено пять направлений исследований: экологический мониторинг; опасные техноэкологические происшествия и природные процессы; математическое моделирование; экспертные системы; интеллектуальные робототехнические системы. Отмечена востребованность моделей и методов искусственного интеллекта в решении широкого спектра биосферных исследований.

«Современная биология заимствует богатый инструментарий у точных наук, который включает математические методы и современные информационные технологии.»
Г.Г. Винберг, 1979 г., цит. по [1] [1]

Использование методов искусственного интеллекта (ИИ) для обработки и интерпретации экологических данных вошло в практику современных экологических исследований сравнительно недавно, в последние 2 – 3 десятилетия. В экологии (термин введен Э. Геккелем в 1866 г.), которая изучает живые системы и оперирует колоссальными массивами описательной, констатирующей информации, поиск и разработка методов ее представления, количественной обработки первичных данных неразрывно связаны с самим становлением экологии как науки. Применение вычислительных методов в широком спектре биосферных исследований (анализ структуры водных экосистем, оценка пространственного распределения организмов и др.) отражено в уникальной библиографии известного российского гидробиолога А.И. Баканова (1940 – 2004 гг.), насчитывающей почти 4500 (!) ссылок на соответствующие работы за более чем столетний период исследований [2].

Первые попытки разработки математических моделей взаимодействующих популяций относятся к периоду 20 – 40-х годов XX века (так называемый «золотой век» теоретической экологии) и связаны с именами выдающихся математиков: А. Лотки, В. Вольтерра, А.Н. Колмогорова, В. А. Костицына, А. Николсона, В. Бейли.

[1] Г.Г. Винберг (1905 – 1987 гг.) – выдающийся биолог-энциклопедист XX века; автор энергетического подхода к изучению водных экосистем, ставшего «Ариадниной нитью» в постижении бесконечного разнообразия конкретных ситуаций живой природы; заложил основы экспериментальной гидробиологии в СССР. Член-корр. АН СССР, автор известных в мире классических монографий, переведенных на английский язык и изданных в США. Основатель известной и признанной в мире Минской школы гидробиологов.

В 60-е годы прошлого столетия появились первые математические модели экологических систем, в частности, первая модель водной экосистемы, созданная Г.Г. Винбергом и С.А. Анисимовым, в основу которой был положен энергетический принцип [3]. В настоящее время математическое моделирование надорганизменных систем (от популяций до биосферы), опирающееся на огромные массивы эмпирических данных, представляет целое направление и превратилось в рабочий инструмент и экологов, и математиков.

В масштабной монографии В.К. Шитикова, Г.С. Розенберга и Т.Д. Зинченко [1], посвященной оценке современного состояния количественных методов в гидроэкологии, модели и методы ИИ представлены уже как насущно необходимая, неотъемлемая и органичная составляющая в арсенале средств обработки экологической информации. Эта монография – «Количественная гидроэкология: методы системной идентификации» – изданная в 2003 году, впечатляюще демонстрирует практические возможности ранее не применявшихся методов теории информации, теории нечетких множеств, распознавания образов, современных статистических методов для решения актуальных экологических задач: оценки качества воды, классификации водоемов, оценки качества экосистем и др. Один из основных посылов своей аналитической работы авторы монографии видят в том, чтобы «…способствовать инфицированию мемов[1] математической статистики в гидробиологической научной среде, что должно создать предпосылки к генерации новых плодотворных идей» [1].

Рассуждая по аналогии, представляется естественной постановка обратной задачи: а насколько экологическая проблематика, стремительно вышедшая в XX веке за пределы изначально узкоспециальной области знаний, стала привлекательным полем для исследователей, работающих в области искусственного интеллекта?

Цель данной работы – уделить специальное внимание исследованиям, использующим инструментарий ИИ в экологической проблематике.

Достаточно репрезентативный материал для этой цели предоставляет международный научно-теоретический журнал «Искусственный интеллект», созданный в 1996 году и ставший за 15-летний период своего существования признанным средоточием самых современных исследований в области ИИ. Опубликованные в 50 выпусках журнала «ИИ» материалы исследований (общее число статей превышает 2500) охватывают обширную и достаточно структурированную проблематику ИИ, представленную традиционными тематическими разделами журнала.

Из всего опубликованного материала отобраны те исследования, в которых были поставлены и решены конкретные задачи экологической проблематики. Перечень таких работ (их оказалось 26) с пристатейными аннотациями приведен в табл. 1. За пределами составленной таким образом таблицы явно остались работы, которые по формальным наукометрическим показателям (например, по совместной частоте встречаемости экологических и математических терминов) могли бы рассматриваться как экологически ориентированные. Поэтому приведенные в табл. 1 данные будем принимать как некоторое приближение, позволяющее достаточно корректно представить искомый материал.

[1] Мем – содержащаяся в уме единица информации, которая, влияя на ход определенных событий, способствует возникновению своих копий в других умах. В рамках теории познания все явления массовой культуры (научные, политические и др.) могут быть описаны с позиций распространения и внедрения элементарных «единиц познания» – «мемов» – репликаторов. Цит.по: [1].

Таблица 1 – Перечень статей по экологической тематике (по материалам журнала «Искусственный интеллект», 1996 – 2010 гг.)

№ п/п	Название статьи, авторы	Аннотация
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ		
1.	**Антощук С.Г., Сербина Н.А.** Система распознавания текстурных изображений при экологическом мониторинге // Искусственный интеллект. – 2004. – № 2.	В статье проведен анализ методов обработки текстурных изображений при экологическом мониторинге. Предложена методика построения системы распознавания текстурных изображений, особенностью которой является автоматизированный анализ контуров энергетических спектров.
2.	**Бунь Р.А.** Компьютерная система распределенной инвентаризации парниковых газов как средство принятия эффективных управленческих решений // Искусственный интеллект. – 2006. – № 4.	Представлены основы реализации компьютерной системы для распределенной инвентаризации парниковых газов как средства принятия эффективных управленческих решений властными структурами. Описана технология распределенной инвентаризации с использованием цифровых карт, процедуры формирования входных данных и интерпретации результатов. Показаны возможности использования геораспределенных баз данных. Проанализированы преимущества информационной технологии инвентаризации парниковых газов в плане поддержки принятия эффективных управленческих решений.
3.	**Бунь Р.А.** Специализированная геоинформационная система моделирования и анализа эмиссии парниковых газов в промышленном секторе на региональном уровне // Искусственный интеллект. – 2009. – № 3.	В статье описана структура созданной специализированной геоинформационной системы моделирования и пространственного анализа эмиссий парниковых газов от промышленных процессов. Представлены математические модели инвентаризации парниковых газов в секторе «Промышленность», которые дают возможность осуществлять оценку выбросов на региональном уровне. Приведены результаты пространственного анализа эмиссии парниковых газов от производства сахара и мяса во Львовской области.
4.	**Бутенков С.А.** Математическое моделирование анализа многомерных данных экологического мониторинга на основе теории информационной грануляции // Искусственный интеллект. – 2009. – № 3.	Предлагаемый интеллектуальный подход к решению задачи сбора, хранения, передачи, обработки и анализа многомерных данных экологического мониторинга средствами дистанционного зондирования основывается на систематическом введении методов мягких вычислений и имеющий целью повышение коэффициента интеллектуальности систем мониторинга. В результате использования основных идей теории информационной грануляции L. Zadeh вводится математическая модель многомерных данных, позволяющая решать все указанные задачи мониторинга с помощью методов мягких вычислений – вычислений над образами, или формами.
5.	**Гамаль Х.В.** Инвентаризация эмиссий углекислого газа с использованием ГИС // Искусственный интеллект. – 2008. – № 3.	В статье обоснован подход к пространственной инвентаризации эмиссий углекислого газа с использованием геоинформационной системы. Описаны имеющиеся в украинской статистической отчетности данные о сжигании ископаемого топлива и предложены алгоритмы для их территориального распределения. Представлена созданная информационная система для пространственной инвентаризации эмиссий и приведен пример ее использования для одного административного региона Украины.
6.	**Ганченко В.В.** Обработка данных аэрофотосъемки в задачах мониторинга сельскохозяйственных полей // Искусственный интеллект. – 2008. – № 3.	В данной статье описаны результаты исследования применимости некоторых подходов для решения задачи определения заболевания сельскохозяйственных полей по данным аэрофотосъемки. Использовались следующие подходы: пороговая сегментация по оттенку и насыщенности, нечеткая сегментация, вычисление фрактальных сигнатур (последний подход использован к каждому из цветовых каналов снимков отдельно). Также использована нечеткая сегментация по шести каналам: три цветовых канала и три канала, представляющие собой результат вычисления фрактальных сигнатур по цветовым каналам.

7.	**Ганченко В., Дудкин А. Петровский А., Собковяк Б.** Метод выделения областей на изображениях с использованием фрактальных и текстурных характеристик снимков высокого разрешения // Искусственный интеллект. – 2009. – № 3.	В статье предлагается метод обработки изображений, основанный на текстурных и фрактальных характеристиках изображений. Приведены результаты совместной сегментации с использованием разработанного метода при обработке аэрофотоснимков сельскохозяйственных полей и схема программно-аппаратной системы принятия решения, использующая разработанный алгоритм обработки.
8.	**Кучеренко Е.И., Глушенкова А.С.** Об информационных технологиях принятия решений в задачах оценки состояния территорий // Искусственный интеллект. – 2010. – № 3.	В работе получили дальнейшее развитие методы оценивания сложных объектов, функционирующие в нечетком пространстве состояний. Методы отличаются использованием средств оптимизации индексов нечеткости с последующим упорядочением множества факторов и выбора альтернатив на множестве решений по критерию минимума временных затрат.
9.	**Ламбин Л.Н., Левин Г.М., Токаревич И.В.** Об одном подходе к морфологическому анализу природных пространственных объектов // Искусственный интеллект. – 2004. – № 2.	Рассматривается подход к диагностике морфологических аномалий геометрических объектов.
10.	**Логинов О.А.** Актуализация мониторинговых данных на основе классификации. // Искусственный интеллект. – 2009. – № 4.	Предложена методика актуализации мониторинговых данных, основанная на нахождении степени доверия к показателям точек наблюдения с применением схем классификации. Разработана соответствующая информационная технология актуализации данных. Проведена апробация на данных гидрологического мониторинга (уровня грунтовых вод в опорных скважинах сети наблюдений) Днепропетровской области, показана целесообразность ее применения.
11.	**Пасичнык О.Б.** Геоинформационная система анализа климатических и физико-географических параметров для исследования ареалов лесных пород // Искусственный интеллект. – 2009. – № 3.	В статье рассматривается геоинформационная система анализа климатических (средняя температура) и физико-географических (абсолютная высота) параметров для исследования ареалов лесных пород. Предложен подход к анализу параметров, который позволяет моделировать сценарии изменения климата и прогнозировать влияние изменения климата на ареалы лесов.
12.	**Рыбин В.М., Рыбина Г.В.** Интегрированные экспертные системы реального времени для задач диагностики, управления и экологического мониторинга: некоторые итоги и перспективы // Искусственный интеллект. – 1999. – № 2.	This paper presents results of the work connected to the methods application and tools of expert systems for ecology researches and for creating of modern diagnostical systems of difficult technical objects and complexes, which also, work in the real time. The problem of integration in diagnostical expert systems is discussed and experience of construction of real-time expert systems prototipes. General principles of creating real-time expert systems are examined for experimental complex of ecological monitoring. System G2 (Gensym, USA) is used for developing and supporting of presented real-time expert systems prototypes.
13.	**Сарычева Л.В.** Интеллектуальный анализ показателей эколого-социально-экономического мониторинга регионов // Искусственный интеллект. – 2008. – № 4.	Выделены основные классы задач интеллектуального анализа пространственных данных эколого-социально-экономического мониторинга, предложены методы и алгоритмы их решения. На реальных показателях мониторинга регионов Украины рассмотрены примеры генерирования новых знаний с помощью геоиконического моделирования в геоинформационной системе.
	ОПАСНЫЕ ТЕХНОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОИСШЕСТВИЯ И ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ	
14.	**Кривонос Ю.Г., Писаренко В.Г., Чайковский О.И.** Интеллектуальные системы принятия оптимальных решений при комплексном распознавании, доразведке и нейтрализации опасного экологического происшествия // Искусственный интеллект. – 2004. – № 3.	Данная работа посвящена проблеме создания интеллектуальных технологий поддержки принятия оптимальных решений при прогнозировании кризисных ситуаций, их раннем распознавании, доразведке и принятии адекватных экстренных мер по их максимальной нейтрализации. В качестве конкретного примера выбрана задача информационной и аппаратной поддержки обнаружения, доразведки и нейтрализации опасных экологических происшествий.

15.	**Кривонос Ю.Г., Писаренко В.Г.** Управление оперативным обнаружением и нейтрализацией разлива нефтепродуктов на поверхности акватории на базе прогнозирования процессов поверхностной турбулентной диффузии // Искусственный интеллект. – 2008. – № 3.	В статье решается задача построения информационных моделей вклада процессов турбулентного массопереноса в задачу распознавания поверхностных загрязнений океана. Используется концепция комплексной информационной технологии доразведки и нейтрализации опасных экологических происшествий (ЭП). Рассматриваются два примера: ранняя и поздняя нейтрализация распространяющегося нефтяного пятна в море. На основании расчетов делается вывод об эффективности принятия оперативных мер по нейтрализации, что позволяет сократить общий ущерб и затраты на нейтрализацию в 4248 раз по сравнению с «поздней» нейтрализацией, в 10 раз (по темпу принятия мер) по сравнению с оптимальной стратегией.
16.	**Писаренко В.Г., Варава И.А., Писаренко Ю.В., Панасюк Ю.Я.** Интеллектуальные робототехнические средства для разведки и нейтрализации опасных экологических происшествий // Искусственный интеллект. – 2007. – № 4.	Приводятся результаты попыток группы авторов из Института кибернетики НАН Украины найти концепцию и функциональную структуру системы управления быстрой разведкой и нейтрализацией (УБРН) опасных «техноэкологических происшествий» (ТЭП) (сокращенно – система УБРН_ТЭП). Разработчиками закладывалось требование физической реализуемости разрабатываемой системы для современного уровня информационных технологий и технических средств.
17.	**Таран В.Н.** Использование интеллектуальных систем при прогнозировании оползневых процессов Южного берега Крыма // Искусственный интеллект. – 2006. – № 3.	В статье рассмотрены оползневые процессы Южного берега Крыма, исследованы факторы, влияющие на них, сделаны выводы о накопительном характере влияния сейсмического фактора, выявлено, что более весомое влияние этого показателя – это сумма количества толчков за пять предыдущих лет, разработана структура системы поддержки принятия решений относительно управления оползневыми процессами.
18.	**Таран В.Н.** Обучение сети Байеса при моделировании оползневых процессов Южного берега Крыма // Искусственный интеллект. – 2008. – № 3.	Исследованы общие закономерности построения регрессионной модели оползневых процессов, содержащей авторегрессионную составляющую, на примере Южного берега Крыма. Добавлен управляющий фактор – заблаговременное вложение средств в противооползневые мероприятия, построена сеть доверия Байеса для прогноза общей стоимости восстановительных и укрепляющих склоны работ, а также проведено ее обучение.
	МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	
19.	**Антощук С.Г., Николенко А.А., Прущак Т.В., Хитрук Н.Ю.** Прогнозные модели при оценке состояния воздушного бассейна // Искусственный интеллект. – 2006. – № 4	Исследованы прогнозные аналитические и нейросетевые модели при оценке состояния воздушного бассейна, построенные с учетом реальных данных, представленных в виде временных рядов.
20.	**Дроздов В.А., Масленникова А.В.** Информационное обеспечение социально-эколого-экономического моделирования межконтинентального мирового развития и сценарный анализ межконтинентального взаимодействия // Искусственный интеллект. – 2005. – № 4.	Предлагается интернет-ориентированная система для сбора, хранения и предоставления по запросу информации, используемой при математическом моделировании социально-эколого-экономических процессов; система оснащена авторизованным доступом, механизмами поиска и загрузки информации из сети Интернет, пользовательским интерфейсом для ввода данных, пользовательским интерфейсом для отображения информации, включая построение картограмм, внутренними интерфейсами для подключения математических моделей. Имеется механизм пересчета размерностей физических величин и контроль достоверности информации на базе экспертных оценок. Система адаптирована к работе на операционной платформе нового поколения Microsoft.NET Framework. Строится база данных и знаний (БДиЗ) о межрегиональном мировом развитии в XXI веке с учетом основных параметров и факторов развития. Согласно отчету ЮНЕПКОМ выделяются семь регионов мира: Африка, Азиатско-

		Тихоокеанский регион, Европа, Латинская Америка и страны Карибского бассейна, Северная Америка, Западная Азия, Полярные регионы, и следующие тематические разделы: краткая характеристика территории; население; социальное развитие; экономическое развитие; транспорт; экологическое состояние; земельные ресурсы; лесные ресурсы; ресурсы пресных вод; прибрежные и морские зоны; биоразнообразие; атмосфера; полезные ископаемые; городские территории; наука и техника, управление; опасные природные и техноприродные процессы. Анализируются возможные сценарии межконтинентального взаимодействия.
21.	**Косова Е.А.** Оценивание состояния популяций китообразных на основе математических методов кластеризации // Искусственный интеллект. – 2006. – № 2.	В статье рассматривается алгоритм оценивания биологических популяций на основе методов автоматической классификации, позволяющий учесть зависимость численности популяции от факторов среды ее обитания. Разработанная методика дает возможность, принимая во внимание территориальную неравномерность проводимых исследований, распространить эмпирические данные о численности китообразных в некоторых оцененных областях на весь класс областей с аналогичным набором условий.
22.	**Покровский С.В., Горский Ю.М., Кудреватова О.В., Степанов А.М.** Подходы к моделированию системы «человек – природа» (приоритеты при выработке путей развития цивилизации в гармонии с природой) // Искусственный интеллект. – 2001. – № 3.	В работе рассмотрена проблема противоречия между человечеством и природой, система «человечество – природа» и зона многовариантной устойчивости. Представлена конкретная структура, способная реализовать требования ООН о переходе к устойчивому развитию человечества.
	ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ	
23.	**Лелеков С.Г.** Оболочка экспертных систем для представления и распространения знаний о гидробиологических объектах // Искусственный интеллект. – 2004. – № 2.	Рассмотрены вопросы по разработке экспертных систем, связанные с построением эффективных стратегий и критериев выбора для диагностики. Представлена структура баз знаний: таблица признаков объектов данной таксономической группы; трудоемкость определения признаков; вероятность появления объекта; описания объектов; описания таксономических групп; прочие сведения (терминология, библиография, зоогеография, экология и т.д.).
	ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ	
24.	**Армада М., Фернандес Р., Рос С., Акинфиев Т.** Концепция специализированного подводного робота с многопроцессорной системой управления // Искусственный интеллект. – 2001. – № 3.	В работе обсуждаются пути создания робота для подводной очистки поверхности кораблей от морских отложений. Рассматривается конструкция робота, многопроцессорная система управления, алгоритмы автоматического управления. Приводятся результаты экспериментальных исследований лабораторного прототипа робота.
25.	**Акинфиев Т., Армада М., Фернандес Р.** Концепция автономного робота для взятия проб воды // Искусственный интеллект. – 2009. – № 3.	В статье рассматривается концепция разработки нового автономного робота, способного брать пробы воды с заданной глубины с высокой точностью позиционирования, особенно для случая взятия проб вблизи дна водоема. Робот имеет верхнюю и нижнюю части корпуса, которые связаны зубчатым ремнем. Для увеличения точности позиционирования используются специальные датчики.
26.	**Акинфиев Т., Апальков А., Армада М.** Автономный робот для взятия проб воды // Искусственный интеллект. – 2010. – № 3.	В статье рассматривается новый автономный робот для взятия проб воды. Целью работы является разработка робота, способного брать пробы воды с заданной глубины с высокой точностью позиционирования, в частности, для случая взятия проб вблизи поверхности водоема.

По материалам таблицы выделено пять ситуативных (условных) направлений исследований, кратко рассмотренных ниже.

Экологический мониторинг. Это направление представлено наибольшим количеством работ и характеризуется:

– разнообразием объектов наблюдения (с/х поля, земельное пользование, гидрологические данные и др.);

– методами получения первичной информации (аэрофотосъемка, гидрологические наблюдения и др.);

– методами обработки данных (информационные технологии, классификация, теория информационной грануляции, экспертные системы, распознавание текстурных изображений и др.

Для извлечения новых знаний из данных эколого-социально-экономического мониторинга описаны методы интеллектуального анализа пространственных данных, которые используют современные геоинформационные системы (ГИС) для регионов Украины (Сарычева, 2008). Такой подход обеспечивает возможность количественной оценки уровня устойчивого развития, что является одной из приоритетных задач мирового сообщества на XXI век.

Опасные техноэкологические происшествия и природные процессы.

Рассматриваются оползневые процессы в районе Южного берега Крыма, анализируются факторы, приводящие к таким явлениям, на основе прогноза даются практические рекомендации по созданию системы управления этими процессами (Таран, 2006 – 2008 гг.).

По результатам многолетних работ в Институте кибернетики НАН Украины разработаны теоретические и практические вопросы разведки и нейтрализации опасных техноэкологических происшествий (Писаренко с соавторами, 2004 – 2008 гг.)

Математическое моделирование

В эту группу вошли работы по моделированию системы «человек – природа» (Покровский и др., 2001); по созданию информационной системы для математического моделирования социально-эколого-экономических процессов на глобальном уровне (Дроздов, Масленникова, 2005); по прогнозным моделям состояния воздушного бассейна (Антощук и др., 2006), а также по оцениванию состояния популяций китообразных (Косова, 2006).

Экспертные системы

Данная работа (Лелеков, 2004) весьма специфична, поскольку объектом исследования являются непосредственно водные организмы, в том числе имеющие малые размеры (в долях миллиметра) и характеризующиеся бесконечным богатством форм, поражающих сложностью и красотой. Профессиональное умение идентифицировать водные организмы (фито-, зоопланктон, бентос, ихтиофауну) по видовому составу достигается на основе продолжительной, кропотливой, колоссальной работы, требующей незаурядных качеств исследователя. Тем более весомым и перспективным является подход к этой задаче на основе разработанной экспертной системы.

Интеллектуальные робототехнические системы

Представлены тематически тесно связанные работы интернационального коллектива авторов из Мадридского Центра автоматики и робототехники (Акинфиев, Апальков, Армада) по созданию робота для отбора проб воды. Использование такого робота *in situ* позволит существенно облегчить одну из самых трудоемких и изнурительных процедур, какой является отбор проб воды в водоемах разного масштаба, от Мирового океана до небольших озер и водохранилищ.

Таким образом, представленные в табл. 1 статьи наглядно демонстрируют те разнообразные возможности в решении широкого спектра экологических задач, которые достигнуты в настоящее время благодаря практическому использованию развитых методов искусственного интеллекта и делают реальным и доступным решение глобальных экологических проблем, все ощутимее касающихся непосредственно каждого жителя планеты.

Литература

1. Шитиков В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. – Тольятти : ИЭВБ, 2003. – 463 с.
2. Количественные методы в экологии и гидробиологии (памяти А.И. Баканова) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : ecograde.belozersky.msu.ru/library/books/_pdf_rozenberg/o-o_contents.html
3. Гиляров А.М. Экология, обретающая статус науки [Электронный ресурс] / А.М. Гиляров // Природа. – 1998. – № 2-3. – Режим доступа к журналу : http://vivosvoco.astronet.ru/VV/PAPERS/ Nature/ECOLOGY.HTM

Literatura

1. Shitikov V.K. Kolichestvennaya gidroekologiya: metody sistemnoi identifikacii / Shitikov V.K., Rozenberg G.S., Zinchenko T. D. – Tol'yatti: IEVB, 2003. – 463 s.
2. Kolichestvennye metody v ekologii i gidrobiologii (pamyati A.I. Bakanova) [Elektronnyi resurs]. – Rejim dostupa: ecograde.belozersky.msu.ru/library/books/_pdf_rozenberg/o-o_contents.html
3. Gilyarov A.M. Ekologiya, obretayuschaya status nauki / A.M. Gilyarov // Priroda. – 1998. – № 2-3 [Elektronnyi resurs] Rejim dostupa k jurnalu: http://vivosvoco.astronet.ru/VV/PAPERS/ Nature/ ECOLOGY.HTM

Л.О. Глущенко, В.М. Пігуз

Інструментарій штучного інтелекту для розв'язання екологічних задач

За матеріалами журналу «Штучний інтелект» за період 1996 – 2010 рр. укладений анотований перелік робіт, присвячених розв'язанню екологічних задач. Виділені п'ять напрямків досліджень: екологічний моніторинг; небезпечні техноекологічні події та природні процеси; математичне моделювання; експертні системи: інтелектуальні робототехнічні системи. Відзначена затребуваність моделей і методів штучного інтелекту в рішенні широкого спектра біосферних досліджень.

Статья поступила в редакцию 21.06.2011.